

# НЕОДНОРОДНОСТИ ДЕФОРМАЦИИ АДДИТИВНО ПОЛУЧЕННОЙ АУСТЕНИТНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ 12X18H9T

А.О. Панфилов<sup>1</sup>, Е.О. Княжев<sup>1</sup>, Т.А. Калашникова<sup>1</sup>

Научный руководитель: к.т.н. А.В. Чумаевский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,

Россия, г. Томск, пр. Академический 2/4, 634055

E-mail: [panf-o@mail.ru](mailto:panf-o@mail.ru)

## INHOMOGENEOUS DEFORMATION ADDITIVE OBTAINED AUSTENITIC STAINLESS STEEL 12X18H9T

O.A. Panfilov<sup>1</sup>, E.O. Knyazev<sup>1</sup>, T.A. Kalashnikova<sup>1</sup>

Scientific Supervisor: Dr. A.V. Chumaevskii<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

<sup>2</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science, Russia, Tomsk, Akademicheskii ave. 2/4, 634055

E-mail: [panf-o@mail.ru](mailto:panf-o@mail.ru)

**Abstract.** *The results of additive manufacturing of 12x18n9t steel samples using EBAM technology and their subsequent tensile tests are presented. Data obtained during tensile tests of steel samples with orientations along and across the printing direction are analyzed. Traces the manifestation of inhomogeneous deformation, presented in the form of journals.*

**Введение.** Известно, что процесс пластической деформации в нагруженных металлах и сплавах, полученных традиционной кристаллизацией из расплава, протекает неоднородно, сопровождаясь появлением локализованной пластической деформацией, образованием шеек, полос Черова-Людерса, поворотом отдельных фрагментов кристалла и т.д. [1, 2]. Сегодня активно развиваются методы аддитивного производства металлических изделий методами 3D печати, на что указывают работы по получению готовых изделий методом селективного лазерного сплавления порошкового материала (SLM) [3, 4], и методом электронно-лучевого аддитивного производства (EBAM) [5] и другие. Помимо методов, основанных на сплавлении или спекании порошковых частиц, происходит активное развитие технологий проволоочной аддитивной технологии с использованием лазерного, электродугового или электронно-лучевого источников тепла для плавления филамента. Так как 3D печать металлами имеет шансы частично заменить традиционные методы получения готовых изделий, то встает вопрос о влиянии новых методов производства изделий как на прочностные свойства металлов и сплавов в условиях различных схем напряженно-деформируемого состояния. Целью настоящей работы является исследование влияния ориентации оси деформации относительно направления выращивания образцов в виде вертикальной «стенки» на процесс пластической деформации при растяжении.

**Материал и методика эксперимента.** Для изготовления образцов на экспериментальной установке 3D печати по технологии EBAM (Electron-Beam Additive Manufacturing) [6] были получены заготовки в виде стенок (рис. 1, а, б) из нержавеющей стали марки 12X18H9T. Для проведения

статических испытаний на растяжение из заготовок были вырезаны лопатки заданного размера на электроискровом станке. Подготовка рабочей части образцов включала абразивное шлифование с последующей полировкой на алмазных пастах. Испытания на растяжение проводились на универсальной испытательной машине «УТС 110М-100». Для оценки влияния направления печати на прочностные и пластические свойства, «лопатки» вырезались в двух взаимно перпендикулярных направлениях: вдоль и поперек направления выращивания образцов.

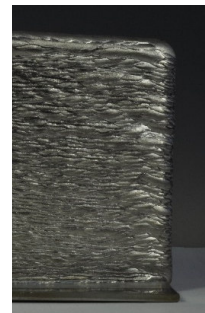


Рис. 1. Схема процесса печати стенки методом EBAM (a); фотография напечатанной стенки (b)

**Результаты и обсуждение.** На рис. 2 представлены изображения образцов стали 12Х18Н9Т полученных после испытаний на растяжение. Образец, вырезанный вдоль направления выращивания, обладает меньшими пластическими свойствами, чем образец, вырезанный поперек. Для деформации образцов характерно ярко выраженное образование «шейки» на последней стадии процесса испытания, после чего происходит разрыв и разрушение образца. Такое положение характерно для образцов, вырезанных как в направлении вдоль выращивания (а на рис. 2), так и поперек выращивания (b на рис. 2).



Рис. 2. Изображения образцов из стали 12Х18Н9Т, разрушенных при статических испытаниях на растяжении: а – образец, вырезанный в продольном направлении; b – образец, вырезанный в поперечном направлении

Процесс деформации при растяжении (рисунок 3) развивается в 3 основные стадии - стадия упругой деформации, стадия пластического течения с параболически изменяющимися значениями напряжений и стадия с высокими, незначительно изменяющимися значениями напряжений, предшествующая образованию шейки и разрушению образцов. Такое положение справедливо для обоих

типов образцов. При этом, на стадии упругой деформации и параболической стадии различия являются небольшими или отсутствуют полностью. Наибольшие различия характерны на последней стадии деформации, длительность которой и напряжения выше для образцов, вырезанных поперек направления выращивания материала (см. рисунок 3).

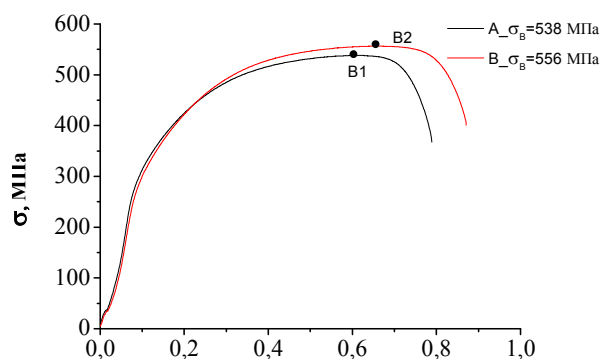


Рис. 3. Кривые растяжения образцов стали 12Х18Н9Т: А – образец, выполненный в продольном направлении; В – образец, выполненный в поперечном направлении

**Закключение.** По представленным результатам можно сделать предположение, что направление печати при использовании технологии ЕВАМ, оказывает небольшое влияние на механические свойства в частности, предел прочности и относительное удлинение. Полученные по методу ЕВАМ образцы обладают низкой неоднородностью в процессе пластической деформации, что подтверждается кривыми диаграммы растяжения и съемкой поверхности образцов после разрушения. В дальнейшей работе планируется исследование свойств образцов полученного материала в испытаниях на малоцикловую усталость.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.11.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатенко В.В. Неустойчивость пластического течения: полосы Чернова–Людерса и эффект Портевена–Ле Шателье // Журнал технической физики. – 2017. Т. 87., № 3. – С. 372–377.
2. Зуев Л.Б. Физика макролокализации пластического течения. –Новосибирск: Наука, 2008. – 328 с.
3. Shahriar A. Fatigue characteristics of steels manufactured by selective laser melting // International Journal of Fatigue. – 2019. – Vol. 122. – P. 72–83.
4. Sagar S. Effects of different surface modifications on the fatigue life of selective laser melted 15–5 PH stainless steel // Materials Science and Engineering: A. – 2019. – Vol. 762. – P. 13819.
5. Xiaoqing W. EBSD study of beam speed effects on Ti-6Al-4V alloy by powder bed electron beam additive manufacturing // Journal of Alloys and Compounds. – 2018. – Vol. 748. – P. 236–244.
6. Utyaganova V. Structure and Phase Composition of Ti-6Al-4V Alloy Obtained by Electron-Beam Additive Manufacturing // Russian Physics Journal. – 2019. – С. 1461–1468
7. Shahriar A. Fatigue characteristics of steels manufactured by selective laser melting // International Journal of Fatigue. – 2019. – Vol. 122. – P. 72–83.
8. Jawade S.W. Comparative study of mechanical properties of additively manufactured aluminum alloy // Materialstoday: PROCEEDINGS. – 2020.